以區域農業發展看節能減碳之工程研發-台中場

張致盛
行政院農業委員會台中區農業改良場 場長

摘　要

台灣中部農作物相複雜、種類繁多，且兼具高經濟價值的特性。由於產業的演進，農業生產面臨技術轉型與經營結構改變，台中區農業改良場擔任推動地區農業發展的角色，自當充實研發智能與展現服務熱誠，配合政策與農民需求，協助提升產業競爭力。在農業科技研發方面，為因應氣候變遷與逆境調適，本場直接或間接調節人力、物力和經費於節能減碳研發工作，可概分為電照在作物栽培管理之應用、節能管理技術、省工自動化機具之研發、溫室及設施環境改善與管理等 4 大部分，也有具體成效落實於農業生產與應用。另針對未來產業需求與展望，則根據產業的需求與科技的進步，擬定高效率節能燈具在作物生產產期調節之應用、溫室披覆材質改善、資通訊技術及灌溉技術之應用、農業精準生產管理、建立植物工廠標準生產模式、藍色革命與師法自然之概念應用等議題或構想。期望藉由產、官、學、研各界的分工合作，以及栽培管理與農業工程的整合運用，進行以節能減碳為目標之研究開發與推廣利用，為台灣農業永續經營與地球環境保護，共創雙贏。

一、前　言

台灣中部兼具溫帶、亞熱帶及熱帶氣候，農業生產作物相複雜、經濟種類繁多與具高經濟價值的特性，包括水稻、雜糧作物、特用作物，熱帶、亞熱帶及溫帶蔬菜、花卉等。由於產業的演進，國內農業生產面臨技術轉型與經營結構的改變，本場面對外界殷切的期待與需求，不斷加強同仁專業研發智能與推廣服務的熱誠，配合政策與農民、產業需求，以新視野、新理念、新技術與機動性，承擔推動地區農業發展的角色，進而提升產業競爭力。

最近數十年來，由於人類工業化蓬勃發展，造成二氧化碳、氧化亞氮、甲烷、氟氯碳化物等溫室氣體（GHG）的大量排放，在地球暖化過程中扮演重要的角色。全球平均氣溫逐年攀升，使得不尋常的極端氣候發生頻率增加，這種氣候變遷的現象，對於農業生產勢必造成嚴峻的考驗。所以，行政院農業委員會於本（99）年 6 月 15 日舉行全國性之「因應氣候變遷農業調適政策會議」，提出具體可行之因應策略與採行措施，供農業部門加以參考依循，期達成農業

調適和、落實永續經營的終極目標。其中「第四核心議題：氣候變遷下農業部門節能減碳之策略規劃」引言報告強調：「節能減碳」是全球重要而且是無悔的行動，並針對「減少溫室氣體的排放」與「加強碳匯吸存以抵減（offsets）溫室氣體的排放」等 2 個方向進行討論，以及確切指出農業部門需要廣泛的在能源利用、水資源管理、自然資源保育、空間規劃與土地利用等多面相進行調整。

本場在區域農業發展上，為因應氣候變遷與逆境調適，各領域試驗研究人員既分工又合作，積極進行抗逆境品種培育、栽培技術建立、病蟲害防治、合理化施肥、設施環控生產等研發與推廣，亦直接或間接調節人物力和經費於節能減碳的試驗工作，並也有一些成果績效落實於農作物之生產應用，例如設施棚架式高莖作物用的電動自走式升降作業機、電動自走鼓風噴霧機、溫室無線監測系統等。但現階段仍有許多栽培管理項目，需要藉由節能型機械化、自動化配合加以作業，並與農業工程相結合，以期真正達成且符合「減緩溫室氣體排放產生」、「調適氣候變遷衝擊」的既定策略，為地球環境善盡一己之責。

二、 節能減碳研發現況與成果

(一)電照在作物栽培管理之應用：

1.菊花電照省電技術：菊花為短日照植物，在自然氣候環境下，於秋天日長漸短時開花，俗稱秋菊。一般於夜間連續電照 3~4 hr，便可以抑制開花，並達到控制株高及調節產期的目的。傳統菊花電照每公頃每季需電費 42,000 元，佔非勞力成本 18%，是菊花栽培極為重要的支出（圖 1)。經本場研究採行間歇式電照、使用省電燈泡及改進電燈架設等 3 個省電方法，將電照時間分為 8 段，每段 30 min，每段間光照 10 min、熄燈 20 min，週而復始，共 8 循環；並使用 23W 的黃光省電燈泡進行光照，其照度與 100W 鎢絲燈泡類似，但用電量僅約 1/4；又將菊花之電燈架設改為燈行與燈距各為 2.6 m，燈泡高度為 1.6 m 等，整體照明支出約可節省電力 60% ，相當於每公頃每季可降低生產成本 25,200 元。此項研究與推廣應用，不僅提高菊花栽培農友之淨收益，也充分符合節能減碳的功效。

2.紅龍果電照調節產期技術：中部地區紅龍果栽培面積占全台的 33.7%，但產期過於集中在夏季，造成不小的銷售壓力；雖已有利用冷藏方式來調節盛產期的出貨量，但夏季果實多而小、甜度低；而秋冬季果實產量少、大又甜，頗具市場吸引力。因此，若能延長產期，並提高冬期果的產量，對其經濟價值將大有助益。本場遂利用省電燈泡夜間燈照技術（圖 2)，可收穫非產季的冬期果，提高果實重量及糖度，有效延長採收期 2~3 個

月，並增加產量 50%以上。此產期調節技術不僅可增加農友收益，更可讓消費者品嚐到新鮮且高品質的紅龍果。

3. 葡萄電照提升品質技術：中部地區葡萄在生育初期正值低溫期，容易遭受寒流低溫之傷害，造成枝梢過短及著果不良，會影響日後的結果與品質。為解決此問題，本場研發在開花期間給予夜間電照（圖 3、4)，藉照光促進枝梢生長與提高著果率，並已有具體成果而廣泛應用。惟以往農民大多利用水銀燈照射，其耗電且成本較高；為建立完整的生產技術，本場乃利用日光燈、省電燈泡等較節省能源之燈照方式進行試驗比較，證實其效果與水銀燈相當，亦可節省 1/3~1/2 之電費，達到節省能源且降低成本之成果。

(二)節能管理技術：

1. 推行作物合理化施肥：施肥過量不僅浪費生產成本，超施化學肥料甚至造成耕地劣質化而影響後續之產量與品質，並且增加二氧化碳之排放量。本場配合農委會推動「合理化施肥」政策，針對轄區內較大宗作物，

圖 1：菊花電照應用

圖 2：紅龍果電照應用

圖 3：葡萄電照應用（俯視）

圖 4：葡萄電照應用（仰視）

進行最適施肥管理之試驗比較與示範推廣（圖 5、6、7）。以南投縣埔里鎮的茭白筍為例，農民每公頃之慣行施肥量約為氮素 390 kg、磷酐 210 kg 及氧化鉀 254 kg，經試驗調查並推薦最適施用量與施肥方法，則整體共可降低 26%的用肥量。以合理化施肥示範區和農友慣行區生育調查結果顯示，其產量及品質性狀並不因減施用肥量而降低，且每公頃可節省購肥成本 6,400~10,600 元。所以，本場近年來積極辦理宣導講習及觀摩會，本（99）年度預計完成教育講習及技術座談會 150 場次，輔導建立合理化施肥示範農場 35 處，舉辦田間成果觀摩會 15 場次（圖 8），期望農友每年逐步減少肥料用量至推薦範圍。另以水稻每年減施 10%用肥量估算，其將可減少約 800 ton 二氧化碳之排放，對於維護地球生態環境與農業永續經營，皆有極大的貢獻。

2. 試驗研究太陽能防治農作物病蟲害與消毒農業資材技術：台灣地處亞熱帶、熱帶氣候區域，擁有充分的日照條件，將太陽能轉變為可用之能源（包括電能及熱能），應用在防治農作物病蟲害，有助於達成節能減碳之

圖 5：果園放射條狀開溝施基肥

圖 6：水稻合理化施肥

圖 7：落花生合理化施肥

圖 8：合理化施肥示範觀摩

目的。例如本場利用太陽能誘蟲燈誘引防治害蟲（圖 9），在蔬菜園進行誘殺試驗結果顯示，其對於黃條葉蚤、番茄夜蛾、斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾、葉蟬等蔬菜主要害蟲，具有誘殺的成效，並可達降低農藥施噴次數的目的。另利用太陽能熱水系統消毒菊花苗栽培介質（圖 10），經試驗測得溫度在 50℃以上達 112 min，且 3 種苗期土壤病原菌完全無法存活，可避免傳統燻蒸劑消毒造成環境污染，以及蒸氣消毒消耗柴油（2.4 *l* /m^2）等化石能源的問題。

3. 農業廢棄物再利用研究：
   (1) 稻草處理機械化作業系統：針對田間稻草收集處理作業需求，試驗研發稻草處理機械與建立相關機械化系統，以提供生質能源生產運用，可解決現行稻草焚燒所產生之空氣污染等問題，亦可推動農產廢棄物之再生利用，達到節能減碳的效果。其中進行中之粉碎稻草擠壓成型機械，係將蓬鬆稻草予以切碎後壓縮成圓棒狀，不僅降低稻草體積、搬運方便，亦可作為生質燃料之用，充分達到替代燃料應用與固碳的功能；若供為纖維酒精之生產料源，對於後續水解、發酵等處理流程，也可能因料源接觸面積增加，具有提升處理效率之結果，此部分本場農機同仁正積極進行試驗研究與改良工作。
   (2) 耕種後舊介質再利用技術：台灣設施果菜類蔬菜已普遍使用介質生產，栽種介質平均 2 年須更換 1 次，每次費用 60~80 萬元/分地，若以泥碳苔進口量估計栽培面積約 25 ha，每年花費逾 1 千萬元。本場研發耕種後舊介質再利用技術（圖 11、12），可減少老舊介質物理、化學、微生物等特性逐漸惡化之情形，並降低舊介質拋棄量與農民生產成本支出。該項技術業於 97 年完成技轉與推廣應用。

圖 9：太陽能誘蟲燈

圖 10：太陽能熱水消毒系統

(3) 杏鮑菇栽培介質製作方法：食用蕈菇類普遍採用太空包栽培，全台使用量 4 億 7,300 萬包，若每包木屑以 0.9 kg 計，則總使用量逾 42 萬 ton。本場研發杏鮑菇栽培介質製作方法（圖 13、14），利用有益微生物將廢棄舊介質混合新木屑而成栽培介質，可減少 20~40%原料需求，降低農民生產支出，達到減少樹木砍伐、環境保護與廢棄資源再利用之效益。該技術業於 99 年完成技轉與推廣應用。

(三)省工自動化機具之研發：

1. 電動自走式管理作業機械：有鑑於極端氣候發生頻繁，農友採行設施栽培者日漸增加，但設施內生長環境較為封閉，作物栽培亦較密集，相對地增加許多管理的困擾，若輔助作業之各類農機具，其動力源仍使用傳統之引擎驅動式，則不僅造成室內廢氣污染，不利作物生長，更繼續消耗化石燃料。本場研發完成電動自走式升降作業機（圖 15、16），採直流馬達與電瓶為行走動力，油壓裝置驅動工作台升降，舉升高度約 80 cm，

圖 11：接種液態複合微生物

圖 12：堆積發酵改善介質特性

圖 13：篩選菌株與研發接菌技術

圖 14：杏鮑菇舊介質之再生利用

圖 15：電動升降作業機(四維牌)

圖 16：電動升降作業機(廣源牌)

載重量達 200 kg 以上，作業效率較人工快 3 倍，每次電瓶充電可使用 2~4 天。該機 95 年度完成技術移轉予四維機械廠有限公司和廣源農業機械有限公司等 2 家業者，該 2 牌型於 96 年度皆列入新型農機補助計畫之機種，可供設施棚架式高莖作物登高採收、管理與搬運作業應用。目前共計推廣 150 餘台，創造產值達 1,300 萬元以上。另本場研發並完成技術移轉之電動自走鼓風噴霧機（圖 17），採用全電力驅動方式進行行走、舉升、鼓風及噴霧功能等，皆是直接降低化石能源消耗而研發推廣之實例。

2. 其他各類省工、自動化機具之試驗研發與推廣應用，除對於提升作業效能、降低生產成本，具有一定程度的貢獻，相對也是間接促成節能減碳的推動方式。若以本場研發並完成技術移轉之乘坐式果園割草機（圖 18）為例，其不僅作業效率較背負式割草機快 6-8 倍，較自走式機型快 2-3 倍，也可避免果園使用殺草劑而造成土壤流失與劣質化，以及環境源污染等問題，更達到固碳與涵養水資源的目的。然割草機使用柴油引擎驅動，係消耗化石能源的負面表徵，但依據前述優點而權衡得失，其整體仍堪稱具有減碳功能。

(四)溫室及設施環境改善與管理：

1. 自然通風器於設施通風散熱之應用：日本設施園藝界稱為「換氣」的通風作業，是設施內部微氣候管理作業最重要的一環。本場與中興大學農機系（現更名為生機系）合作，將工業廠房常見用來排放熱氣、穢氣之免動力渦輪式自然通風器（圖 19），裝設於鍍管塑膠布溫室屋頂上，以進行設施內部之通風散熱功能測試。該通風器只要外界風速達 0.5 m/sec 以上就會開始迴轉，並藉由熱空氣上升與對流原理而逐漸加速，不需要外加動力，即可達到設施內氣流移動與通風、換氣的目的。此免動力通風器之應用，可提供給設施

栽培農友在環境控制與作業管理上多一種選擇，亦可取代較為昂貴的電動天窗、側窗及太子樓屋頂結構等，並達到降低設備投資成本、提高生產淨收益的成果，更是一項節能減碳方式之應用例。

2. 溫室精準灌溉系統之研究：為因應水資源之日益匱乏，有效節約水資源，減少人工介入調整之勞力負荷，確保作物正常生長發育，並降低用水、用電量及施肥量等能源與資源之消耗率。其中本場研發完成之基本型養液自動調配灌溉機具（圖 20），養液可以依特定比例，自動混和並輸送到指定田區，系統前端不用設置養液混合桶，可免除人工調配養液、供水及抽送養液等繁複作業所需時間，主機簡潔實用甚具商品化價值。該項成果業於 98 年完成技術移轉，正推廣應用中。

3. 遠端監控技術之研發：目前國內運用溫室進行作物生產，多運用自動控制系統進行溫室內部環境控制，以期達到最佳生長環境狀態。但由於系統各自獨立，微氣候環境資料與作物生長關係，無法整合，本場整合資通訊技術，結合前端感測系統元件，進行微氣候環境資料收集，並定時透過通訊網路，將收集所得資料傳送至遠端電腦資料庫集中管理，並進

圖 17. 電動自走鼓風噴霧機

圖 18. 乘坐式果園割草機

圖 19. 設施應用之自然通風器

圖 20. 養液自動調配灌溉機具

行統計分析、繪圖與環境控制設備之逆向操作與控制等加值運用(圖 21、22)。經營管理人員不但可以隨時掌握其設施之運作狀態，更可藉由電腦端之資料回溯與分析，反饋於栽培管理，提升其作業效率，使系統管理人員管理能力極大化，且達到無遠弗屆之管理目標，亦符合省時、省工與節能減碳的目標。本項成果業於 98 年完成技術移轉，正推廣應用中。

4. 蝴蝶蘭遠距動態影像行銷系統之研究：以自動換棟噴霧兼掃描管理系統為基礎，研發應用於蝴蝶蘭溫室之 e 化軟硬體系統，藉網際網路自遠端觀看蘭園動態影像與資訊，吸引買主如親臨看貨並即時下單，達成網路無遠弗屆與行銷拓展的效果，亦節省往返舟車勞頓之成本花費，間接達到節能減碳的目的。
5. 節能型植物工廠化管理技術之研究：針對因應氣候變遷農業調適政策會議研擬策略之開發節能型植物工廠化管理技術等措施，本場依據轄區內產業需求，規劃進行 LED 等人工光源對於作物生長影響，並建立蔬菜種苗、短期葉菜之最適光照模式，以及相關節能型環控系統之試驗工作。期望配合植物工廠之發展，建立各類蔬菜最適標準化栽培條件，進而達成節能生產的目標。

三、 未來產業需求與研發展望

(一) 高效率節能燈具在作物生產產期調節之應用：本場轄區內主要作物之菊花、紅龍果、葡萄、茭白筍等，均有運用電照進行產期調節與調控生長。其中在燈具選擇方面，菊花相關試驗研究較多，從早期之白熾燈泡，到現在廣泛使用省電燈泡，並推薦採行間歇式照明與更新燈具架設方式，以及嘗試使用 LED 燈，皆具有不同程度的節能減碳成果。另紅龍果、葡萄、茭

圖 21. 溫室無線監測系統

圖 22. 遠端監控技術展示

白筍則分別使用高壓鈉燈與省電燈泡等，進行產期調節的試驗與應用。目前除菊花外，相關作物生產所利用燈具使用配置、光源強度、照光週期外，均未經仔細研究，以葡萄為例，光源在棚架之下，光線向下照射，可是枝條、葉片卻在燈具上。其可能改善對策包括：

(1) 運用高效節能燈具（如 LED 燈具）與光源設計，改進目前點光源之設計缺點，將光源均勻化，成為面或線狀，避免局部光量過高，再配合作物最低需光量與照光週期之自動控制，減少耗電量。

(2) 探討作物需要的最佳光質，目前所用的燈具均為全光譜型，而 LED 燈泡則為一具特定波長燈具，作物所需之光質若有不同，可以運用不同 LED 燈泡進行最佳組合，減少不必要波長的部分，即可節少能量消耗。此部分尚需與農業工程人員加以協助，方能獲致最佳的結果。

(3) 最佳光量控制，如同菊花一般，運用自動控制系統，結合短暫週期性的光照，相較於連續光照，可以節省大量能源，此部分技術亦待進一步開發。

(二) 溫室披覆材質改善：目前國內運用各種型態溫室進行作物栽培，均會有夏季室內溫度過高之問題，目前已運用風扇、水牆、遮陰網，甚至冷氣設備等，配合自動控制系統進行調控。但是夏季溫室內部溫度過高，主要係過多太陽輻射能量進入溫室內部。所以，可能改善方法是找出作物最適之需光質與需光量，並運用適當披覆材質，在不影響作物生長的條件下，濾除過多不需要的光線，減少熱量進入，即所謂「就源管理」。此項工作需跨多領域進行合作，初期成本勢必較高，且非短期之內會有成效，但值得進行試驗研究。

(三) 資通訊技術（Information and Communication Technology, ICT）與灌溉技術之應用：目前運用通資訊傳輸技術進行環境監測、控制、資料傳輸與灌溉、施肥技術均有初步成效，設備運用技術也較成熟，LED 光源應用亦在初始階段，但相關設備尚不完整，且缺乏標準操作程序，設備操作與作物生長關係，資料無法累積，缺乏系統整合。其改善方法是加強作物生長研究與農業工程研發人員之合作，方能建立最佳化生產管理模式。此外配合運用資通訊技術，將資料整合進行分析與加值運用，減少管理人員往返各地，更可藉由減少碳足跡而達節能減碳之綜效。

(四) 農業精準生產管理：作物合理化施肥除宣導現行肥料量減少與推薦最適用量外，更進一步是強調精準施肥，甚至延伸至施藥、灌溉等管理作業。若能針對不同田區應用可變率技術（Variable-Rate Technology, VRT）於肥料、農藥施用或灑水時，可即時或預先偵測、判讀田區狀況，再施以最適當的肥料或液體用量，以達精準生產管理的目標。一般完整的可變率技術，需

結合農耕資料庫決策、全球衛星定位、管理紀錄及農機具作業等系統，尤其可配合小地主大佃農政策之推動，進而達到精準農業（Precision Agriculture）生產管理之成效。

(五) 建立植物工廠標準生產模式：因應消費市場多樣化需求，建立各種植物工廠適合栽種作物（含種苗）之標準生產模式與條件，實際運作時再搭配監測系統，進行即時生產環境等調控，以解決天然災害、極端氣候等逆境造成生產管理之不確定或異常狀況，並具有調節農產品供銷失衡與避免物價過度波動的功能。

(六) 藍色革命與師法自然之概念應用：剛特‧鮑利所著之「藍色經濟（The Blue Economy）」，強調應該師法自然界生物，運用可再生材料，不留任何廢料或造成能量損耗，落實永續發展，即重視「保育」與「再生」。諸如瑞典的學校、倫敦動物學會的房舍，靠著觀察白蟻窩得來的靈感，設計出有效降低室內溫度的建築；仿效沙漠甲蟲採集水氣的方式，就能在年雨量不到1/2”的地區，成功打造出集水系統；全球各地的工程師紛紛參考分子與光合作用的流程，積極開發更節約的太陽能系統等。此係將天馬行空的想法，實際應用在生活上；而我們的農業生產與科技發展，為因應氣候變遷、節能減碳，應該也可以朝向師法自然的目標努力或嘗試。

四、結　語

農業生產亦須耗費能源，如何調和生產與節能減碳相當重要。今後可秉持「健康、效率、永續經營」施政方針，掌握低風險、低碳排原則，以確保以最小能源完成作物的生產。本場針對中部地區產業需要，結合農業科技發展，以及「因應氣候變遷農業調適政策會議」所提出之建議策略與採行措施，期望經由產、官、學、研各界，採跨機關、跨領域之通力合作，進行以節能減碳為目的之整合型試驗研究，並加以推廣利用，真正為台灣農業永續發展與地球環境持續保護，共創雙贏的成果。

參考文獻

1. 方煒。1993。發展本土化精密溫室與植物工廠之可行性分析。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
2. 田雲生、龍國維。2007。乘坐式多功能果園割草機之研製。台中區農業改良場研究彙報91：49-58　。
3. 田雲生、張旭志、陳令錫、何榮祥。2008。電動自走式升降作業機之研製。台中區農業改良場研究彙報99：11-22。

4.行政院農業委員會臺中區農業改良場網站－技術移轉專區。
http://tdares.coa.gov.tw/view.php?catid=5723
5.何榮祥、田雲生、陳令錫。2008。溫室 GSM 遠距無線傳輸監控系統研發。台中區農業改良場研究彙報 99：1-10。
6.邱禮弘、陳榮五。2004。利用夜間燈照調節紅龍果冬期果之產期。台中區農情月刊第 53 期。
7.胡正榮。2005。夜間電照的溫室葡萄上市了。行政院農業委員會臺中區農業改良場新聞稿。http://tdares.coa.gov.tw/files/web_articles_files/tdares/3270/463.pdf。
8.陳令錫、田雲生、張旭志、何榮祥。2008。電動自走鼓風噴霧機之開發。台中區農業改良場研究彙報 99：51-60。
9.陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥。2009。自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培黃瓜之研究。台中區農業改良場研究彙報 104：29-37。
10.梁燕青。2010。以合理化施肥生產優質健康的食材－中秋食材聖品茭白筍。行政院農業委員會臺中區農業改良場新聞稿。
http://tdares.coa.gov.tw/files/web_articles_files/tdares/6683/1930.pdf。
11.許謙信、魏芳明、田雲生、陳彥睿。2002。菊花電照省電方式之研究：省電燈泡與間歇照明。台中區農業改良場研究彙報 76：43-53。
12.許謙信、龍國維、田雲生、黃勝忠。2003。菊花電照省電方式之研究：最佳燈泡架設法。台中區農業改良場研究彙報 78：1-11。
13.郭鴻裕。2010。第四核心議題：氣候變遷下農業部門節能減碳之策略規劃引言報告 http://www.coa.gov.tw/htmlarea_file/hot_news/coa_webuser1_20100617163826/990621_05.pdf。
14.蕭富元、王曉玟採訪。2010。專訪藍色革命作者鮑利－向白蟻、斑馬學綠建築。天下雜誌 450：200-201。
15.龍國維、田雲生。2003。新型自動化農機之研發。出自”農業科技研討會專集”，165-178。彰化：台中區農業改良場。
16.龍國維、田雲生。2004。台中區農業改良場農機試驗研究沿革與近年成果。台灣農業機械 19(2)：7-11。
17.謝禮丞、謝廣文、田雲生、張旭志、欒家敏。2008。自然通風器在塑膠布溫室之應用。興大農業 65：26-28。
18.剛特・鮑利著。洪慧芳譯 2010。藍色革命—愛地球的 100 個商業創新。台北：天下雜誌。